Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 523-540

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۴۰-۵۲۳

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران

حمیدرضا توکلی کاخکی[1]، مهدی نصیری محلاتی[2*]، علیرضا کوچکی[2]، محسن جهان[3] و علیرضا بهشتی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹

توکلی کاخکی، ح.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، جهان، م.، و بهشتی، ع.، ۱۳۹۹. ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۵۴۰-۵۲۳.

چکیده

پایداری و توسعه نظام‌های زراعی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به حضور نیتروژن وابسته است، از سوی دیگر، نظام‌های زراعی و باغی از جمله مسیرهای اصلی تلفات نیتروژن به‌شکل تصعید و شستشو می‌باشند که پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی را به‌همراه خواهد داشت. این پژوهش با هدف ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران با استفاده از مدل CENTURY اجرا شد. این مدل قادر است با تلفیق اثر متغیرهای اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی فرآیندهای چرخه نیتروژن (N) را در سیستم‌های مختلف از جمله بوم‌نظام‌های زراعی شبیه‌سازی کند. در این ارتباط پس از تهیه بانک اطلاعاتی مورد نیاز مدل شامل داده‌های جغرافیایی، اقلیمی، مدیریت زراعی و خصوصیات خاک، روند تغییرات بیلان نیتروژن و سهم هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده بیلان با استفاده از مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین نیتروژن ورودی در دامنه (۹/۵– ۱۲/۵ گرم در متر مربع) مربوط به بوم‌نظام‌های زراعی گندم شمال غرب، غرب و جنوب غرب و کمترین مقدار آن در دامنه (۷/۳– ۹/۴ گرم در متر مربع) مربوط به نظام‌های زراعی گندم در شرق و جنوب شرقی کشور بود. همچنین بررسی نتایج به‌دست‌آمده در رابطه با سهم نسبی اجزای نیتروژن ورودی و خروجی نشان داد که نیتروژن حاصل از مصرف کود به‌عنوان اصلی‌ترین متغیر ورودی و نیتروژن دانه به‌عنوان مؤثرترین متغیرخروجی توانستند به‌ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۷۳ و ۰/۹۲۸ تغییرات کل موجود در نیتروژن ورودی و خروجی را توصیف کنند. با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌نظر می‌رسد در رابطه با نیتروژن ورودی نقش مدیریت زراعی مانند تقسیط مصرف کود، هم‌زمانی زمان مصرف کود با نیاز گیاه و در مجموع، افزایش کارایی مصرف نیتروژن که بیشتر متکی بر مدیریت زراعی هستند، حائز اهمیت می‌باشد. امّا در خصوص خروج نیتروژن از نظام‌های زراعی گندم علاوه بر مدیریت زراعی بقایا، تناوب و بهره‌گیری از ارقام اصلاح شده که از کارایی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار باشند، اهمیت بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، کود، نیتروژن خروجی، نیتروژن دانه، نیتروژن ورودی.

مقدمه

تولید و ثبات عملکرد در نظام‌های زراعی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به حضور نیتروژن وابسته است (Delgado & Shaffer, 2008). سهم نیتروژن از کل حجم گازهای تشکیل‌دهنده اتمسفر ۷۹/۰۸ درصد است، از این رو منشأ اولیه نیتروژن موجود در خاک عمدتاً اتمسفری است (Stevenson and Cole, 1985). اصولاً چرخه

۱- مربی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی،مشهد ، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74308

خاک، گیاه و نیتروژن از فرآیندهای پیچیده و مرتبط با یکدیگر تشکیل شده و این فرآیندها از نظر فرم شیمیایی و نحوه چرخش نیتروژن، در داخل و یا حتی خارج ازسیستم خاک وگیاه، شکل می‌گیرند (Stockadle, 1997). این چرخه در حقیقت توالی تغییرات بیوشیمیایی نیتروژن می‌باشد که در طی آن ابتدا نیتروژن توسط ریزجانداران استفاده می‌شود و سپس به سایر اجزا و بقایای تجزیه‌کنندگان منتقل شده و در نهایت، به‌شکل نهایی و اصلی قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌شود (Fageria & Baligar, 2005). خاک منبع اصلی تأمین نیتروژن برای اغلب گیاهان است و اکثر گونه‌های زراعی ۵۰ الی ۸۰ درصد از نیتروژن مورد نیاز خود را از خاک جذب می‌کنند. یکی از راه‌های ورود نیتروژن به بوم‌نظام‌های زراعی تثبیت بیولوژیکی توسط باکتری‌های هم‌زیست با گیاهان خانواده بقولات می‌باشد. مطالعات انجام شده در این رابطه نشان داده که میزان تثبیت بیولوژیکی توسط ریزجانداران خاک به‌طور متوسط سالانه بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در هر هکتار می‌باشد (Butterbach-Bahl et al., 2011). فرآیندهای طبیعی متعددی در رابطه با خروج نیتروژن از بوم‌نظام‌های زراعی مؤثر می‌باشند، خروج به‌صورت گاز نیتروژن ناشی ازآتش‌سوزی (Barbosa et al., 2008)، دنیتریفیکاسیون (Bateman & Baggs, 2005) و تلفات نیتروژن ناشی از آب‌شویی (Di & Cameron, 2002) از مهم‌ترین این فرآیندها به‌شمار می‌روند.

اصولاً نیتروژن بیش از عناصر غذایی دیگر در بوم‌نظام‌های زراعی تلف می‌شود و مقدار بازیافت آن حدود نصف مقدار استفاده شده است (Boswell et al., 1985). جذب، انتقال و تلفات نیتروژن در سیستم خاک و گیاه می‌تواند فراهمی نیتروژن برای گیاه و انتقال آن به محیط را تحت تأثیر قرار دهد. سیستم‌های زراعی و باغی از جمله مسیرهای اصلی تلفات نیتروژن به‌شکل تصعید آمونیاکی، شستشو (تلفات از طریق آب) و دنیتریفیکاسیون (اتلاف به‌شکل گاز) می‌باشند (Cameron et al., 2013).

تصعید آمونیاکی به‌دلیل تلفات نیتروژن از سیستم خاک – گیاه و پیامدهای زیست‌محیطی آن فرآیندی نامطلوب تلقی می‌شود. تخمین زده می‌شود که در مقیاس جهانی ۵۰ درصد آمونیاک تصعید شده متأثر از فعالیت‌های کشاورزی باشد (Sommer et al., 2004). به‌عنوان مثال، میزان تصعید آمونیاکی ناشی از مصرف کود اوره می‌تواند بین صفر تا ۶۵ درصد، بسته به شرایط خاک و اقلیم متفاوت باشد (Bishop & Manning, 2010). قرار دادن کود نیتروژنی در عمق سه الی پنج سانتی‌متری سطح خاک (Sommer et al., 2004)، تقسیط مصرف کود (Black et al., 1985) و مصرف کود قبل از بارندگی می‌تواند در کاهش تصعید آمونیاکی مؤثر باشد.

از طرفی، شستشوی نیترات از خاک نه‌تنها کاهش حاصلخیزی را به‌همراه دارد، بلکه مخاطرات زیست‌محیطی و پیامدهای آن برای سلامت انسان قابل‌توجه می‌باشد (Di & Cameron, 2002). البته مقدار شستشو به غلظت نیترات در محلول خاک، مقدار کود نیتروژنی به‌کار رفته و سرعت نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون بستگی دارد (Cameron et al., 2013). در این رابطه، نتایج بیش از ۸۰۰ پژوهش نشان داده است که کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی غلات به‌طور متوسط بیشتر از ۵۰ درصد است و مقادیر بالای مصرف کود نیتروژنی کارایی جذب کمتری را به‌همراه خواهد داشت (Chien et al., 2009). به‌منظور کاهش شستشوی نیترات علاوه‌بر مصرف متعادل کودهای نیتروژنی، تقسیط آن در بوم‌نظام‌های زراعی و آماده‌سازی بستر بذر در بهار از جمله راهکارهای پیشنهاد شده می‌باشند (Di & Cameron, 2002).

تلفات گازی نیتروژن به‌صورت مونواکسید نیتروژن (N_2O) و گاز نیتروژن (N_2) نه تنها از مهم‌ترین راه‌های هدررفت نیتروژن از سیستم‌های خاک و گیاه هستند، بلکه این گازها در رابطه با تغییر اقلیم و تخریب لایه ازون نیز مؤثر می‌باشند. غلظت N_2O از ۲۷۰ در ابتدای انقلاب صنعتی به ۳۲۰ قسمت در میلیارد در سال ۲۰۰۷ میلادی افزایش یافته است (Parry et al., 2007). از طرفی، پتانسیل گرمایشی N_2O ۳۰۰ برابر بیشتر از CO_2 است، در این رابطه گزارش شده است که حدود ۶۲ درصد از N_2O انتشار یافته ($4/2 \times 10^5$ تن نیتروژن در سال) ناشی از فعالیت‌های کشاورزی است (Thomson et al., 2012). از جمله روش‌های کلیدی که می‌تواند در جهت کاهش انتشار N_2O از بوم‌نظام‌های زراعی مؤثر باشند، می‌توان از بهبود بخشیدن کارایی مصرف نیتروژن، انطباق بین زمان مصرف کود با حداکثر نیاز گیاه، استفاده شیوه‌های صحیح آبیاری به‌منظور جلوگیری ازغرقابی شدن، احداث زهکش و جلوگیری از فشرده شدن خاک ناشی از تردد ماشین‌آلات نام برد.

ارزیابی بیلان نیتروژن[1] در بوم‌نظام‌های زراعی اغلب با محاسبه مقدار نیتروژن ورودی و خروجی در سیستم خاک- گیاه انجام می‌شود (Sogbedji et al., 2000) و بر این اساس بیلان نیتروژن برای یک

1- Nitrogen balance

بازه زمانی مشخص از معادله ۱ به‌دست می‌آید

معادله (۱)

$$N = N_p + N_b + N_f + N_u + N_m - N_{pl} - N_g - N_i - N_l - N_e$$

در این معادله، مقدار بیلان نیتروژن (N) از تفاضل مقدار نیتروژن فراهم شده توسط بارندگی (N_p)، تثبیت بیولوژیکی (N_b)، کود شیمیایی (N_f)، کود حیوانی (N_u)، معدنی شدن (N_m) از مقدار نیتروژن خارج شده توسط برداشت یا جذب گیاه (N_{pl})، تلفات‌گازی (N_g)، تثبیت (N_i)، تلفات شستشو (N_l) و تلفات ناشی از فرسایش (N_e) به‌دست می‌آید (Di & Cameron, 2002).

بررسی جریان نیتروژن و کارایی مصرف آن در چرخه تولید و مصرف گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) در ایران توسط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) نشان داد بیشترین تلفات نیتروژن برای گندم در سطح مزرعه وجود داشته، درحالی که در ذرت به‌دلیل کارایی بالاتر در جذب نیتروژن تلفات آن در سطح مزرعه کمتر از گندم بود. آن‌ها همچنین بیان داشتند که برای کاهش تلفات نیتروژن در مسیر چرخه تولید غذا، نه تنها ضروری است کارایی در سطح مزرعه از طریق راهکارهایی مانند استفاده از شیوه‌های مناسب آبیاری و استفاده از کود نیتروژن متناسب با نیاز گیاه بهبود یابد، بلکه کاهش تلفات در مرحله فرآوری نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد.

امروزه پژوهشگران، به‌دلیل اثرات مخرب نیتروژن ناشی از فعالیت انسان در تولید غذا (Sutton et al., 2011) بر توسعه و بهبود روش‌های مدیریتی در نظام‌های زراعی تأکید دارند. مدل‌های شبیه‌سازی نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی می‌توانند به‌عنوان ابزاری سودمند برای معرفی مناسب‌ترین عملیات مدیریتی و انتقال نتایج به‌دست آمده به تولیدکنندگان و مشاوران مورد استفاده قرار گیرند. در حال حاضر، قابلیت استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در ارزیابی تولید گیاهان زراعی نه تنها در سطح بین‌المللی به اثبات رسیده (Brun et al., 2006)، بلکه در سطح ملی نیز کاربرد مدل‌ها با نتایج مطلوبی روبرو بوده است (Koocheki et al., 2006; Nassiri et al., 2006; Soltani et al., 2001). در این ارتباط مدل‌های شبیه‌سازی مختلفی مانند EPIC (William et al., 1983) و CENTURY (Parton & Rasmussen, 1994) وجود دارند که می‌توانند پویایی نیتروژن را برای دامنه‌ای از شرایط زیست‌محیطی از قبیل تلفات ناشی از شستشوی نیتروژن، آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن بر تغییر اقلیم در سطح کلان مورد بررسی و ارزیابی قرار دهند (Shaffer et al., 2010).

با توجه به سطح زیر کشت گندم آبی در ایران (۲/۲ میلیون هکتار) شناخت فرآیند پویایی نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم می‌تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. بدین منظور پژوهش حاضر با هدف ارزیابی بیلان نیتروژن و تعیین سهم هر یک از اجزای ورودی و خروجی آن در نظام‌های گندم آبی ایران اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات اقلیمی مناطق مورد بررسی و منبع داده‌ها

در این مطالعه ابتدا ۱۴ منطقه انتخاب و اطلاعات مورد نیاز از نظام‌های تولیدی گندم آبی آن‌ها جمع‌آوری شد. مناطق مورد بررسی در این مطالعه شامل: آذربایجان شرقی (تبریز)، اصفهان (اصفهان)، البرز (کرج)، خراسان جنوبی (بیرجند)، خراسان رضوی (مشهد)، خوزستان (اهواز)، سمنان (شاهرود)، سیستان‌وبلوچستان (زابل)، فارس (شیراز)، کرمان (کرمان)، کرمانشاه (کرمانشاه)، گلستان (گرگان)، همدان (همدان) و اردبیل (پارس‌آباد مغان) بودند. علاوه‌بر داده‌های جغرافیایی و مکانی مورد نیاز، اطلاعات زراعی هر یک از مناطق مورد مطالعه شامل تناوب، تاریخ کاشت، برداشت، تراکم بوته، میانگین عملکرد، مقدار مصرف کود در هکتار، زمان و نحوه تقسیط کود، مقدار آب مصرفی، تاریخ آخرین آبیاری، زمان آماده‌سازی اولیه و ثانویه بستر کاشت و میزان بقایای محصول قبلی از مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و کشاورزان پیشرو، جمع‌آوری شد. داده‌های اقلیمی بلندمدت ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور و پژوهشکده اقلیم‌شناسی اخذ شد. در این رابطه داده‌های اقلیمی ورودی به مدل برای محاسبه بیلان نیتروژن شامل متوسط درجه حرارت بیشینه وکمینه ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه، مجموع بارندگی ماهانه و انحراف معیار بارندگی ماهانه بود که به‌منظور بررسی دقیق‌تر، اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک در دامنه زمانی ۱۵ سال (2014 - 2000) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت (جدول ۱). مشخصات اقلیمی و خاک‌شناسی در جدول ۱ آورده شده است، داده‌های خاکشناسی از مطالعات تفصیلی، نیمه‌تفصیلی و همچنین نقشه‌های خاک‌شناسی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های، جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه

Table 1- Geographical and climate characteristics of the studied regions

منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (⁰E)	عرض جغرافیایی Latitude (⁰N)	بافت خاک غالب Dominant soil† texture	کربن آلی†† Organic C (%)	متوسط بارندگی سالیانه Mean annual rainfall (mm)	متوسط دمای سالانه Mean annual temperature (⁰C)	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)
اصفهان Isfahan	51° 40′	32° 37′	CL	0.41	145	17.02	1551
اهواز Ahvaz	48° 40′	31° 20′	SiC	0.45	192	26.59	22.6
بیرجند Birjand	59° 12′	32° 52′	SL	0.20	132	16.86	1491
پارس‌آباد parsabad	47° 55′	39° 39′	CL	0.6	286	15.53	31.9
تبریز Tabriz	46° 17′	38° 05′	SL	0.49	243	13.66	1361
زابل Zabol	61° 29′	31° 2′	L	0.19	38	23.15	489
شاهرود Shahrod	54° 57′	36° 25′	L	0.28	140	15.67	1349
شیراز Shiraz	52° 36′	29° 32′	SiCL	0.65	298	18.46	1484
کرج Karaj	50° 54′	35° 55′	L	0.54	267	15.63	1312
کرمانشاه Kermanshah	47° 9′	34° 21′	SiCL	0.52	379	15.60	1318
کرمان Keman	56° 58′	30° 16′	L	0.23	118	16.78	1764
گرگان Gorgan	54° 24′	36° 54′	SiCL	0.80	515	18.11	0
مشهد Mashhad	59° 38′	36° 16′	L	0.38	220	15.93	999
همدان Hamedan	48° 32′	34° 52′	L	0.58	308	12.1	1741

† CL=لومی رسی (clay loam); SiC=سیلتی رسی (silty clay); SL= لومی شنی (sandy loam); L= لوم (loam); Sicl= لومی رسی سیلتی (silty clay loam)

†† درصد ماده آلی از حاصل‌ضرب درصد کربن آلی در ۱/۷۲ به‌دست می‌آید.

The percentage of organic matter is obtained by multiplying the percentage of organic carbon by 1.72. (Jimenez & Garcia, 1992)

مدل مورد استفاده

در ایـن مطالعـه از مـدل CENTURY ver.4.6 (Parton & Rasmussen, 1994; Parton, 1996) به‌منظور شبیه‌سازی پویـایی نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم استفاده شد. این مدل قادر است بـا تلفیق اثر متغیرهای اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی امکان شبیه‌سازی فرآیندهای چرخه نیتروژن (N) را در سیسـتم‌هـای مختلـف از جملـه نظام‌های زراعی را فـراهم آورد (Parton et al., 1992). متغیرهـای مکانی شامل طول و عرض جفرافیایی و ارتفـاع؛ متغیرهـای اقلیمـی شامل متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانـه، جمـع بارنـدگی ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه؛ متغیرهای گیاهی شامل نوع محصول، شاخص برداشت، درجه حرارت بهینه رشد، درجه حرارت پایه، حداکثر عمق ریشه و ارتفاع؛ متغیرهـای مـدیریتی شامل تاریخ کاشت، برداشت، نحوه آماده‌سازی بستر بذر، زمان، مقدار و نوع کود مصرفی، مقدار آب مصرفی، عمق آبیاری و مقـدار بقایـای محصول قبلی از جمله مهم‌ترین متغیرهای ورودی این مدل می‌باشند.

جدول ۲- آزمایش‌های انتخاب شده برای تعیین اعتبار مدل

Table 2- Selected from experiments used for model validation

منبع Source	عرض جغرافیایی Latitude (^{0}N)	طول جغرافیایی Longitude (^{0}E)	منطقه Region	نوع داده Type of data
بهرانی و سروستانی Bahrani & Sarvestani, 2007	29° 33′	52° 36′	شیراز Shiraz	کاربرد نیتروژن Nitrogen application
خاصه سیرجانی و همکاران Khaseh serjani et al., 2011	30° 17′	57° 05′	کرمان Kerman	کود نیتروژن N-Fertilizer
گرامی و همکاران Gerami et al., 2013	31° 09′	48° 41′	اهواز Ahvaz	کود نیتروژن N- Fertilizer
مدحج و همکاران Madhej et al., 2009	32° 20′	40° 20′	اهواز Ahvaz	کود نیتروژن N- Fertilizer
پورآذری و همکاران Pourazari et al., 2011	32° 32′	51° 23′	اصفهان Esfahan	کود نیتروژن N- Fertilizer
فرشید و همکاران Farshid et al., 2012	32° 56′	59° 13′	بیرجند Birjand	کاربرد نیتروژن Nitrogen application
شهابی‌فر و دریا شناس Shahabifar & Daryashenas, 2004	35° 55′	50° 54′	کرج Karaj	کاربرد نیتروژن Nitrogen application
بخشایی و همکاران Bakhshaie et al., 2014	36° 16′	59° 38′	مشهد Mashhad	کود نیتروژن N- Fertilizer
تقی‌پور Taghipoor, 2005	36° 30′	54° 57′	شاهرود Sahroud	کود نیتروژن N- Fertilizer
حسینی و همکاران Hosseni et al., 2011	37° 45′	54° 30′	گرگان Gorgan	کود نیتروژن N- Fertilizer
عنابی میلانی Anabi Melani, 2007	38° 05′	46° 17′	تبریز Tabriz	آبیاری و کود نیتروژن Irrigation and N- fertilizer

. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل[1] در مدل تابعی از متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه می‌باشد (Linacre, 1977). مهم‌ترین خروجی‌های مدل در رابطه با محاسبه بیلان نیتروژن علاوه‌بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، مقدار نیتروژن اضافه شده توسط کود و اتمسفر و همچنین مقدار نیتروژن خارج شده از نظام زراعی توسط دانه، انتشار، آب‌شویی و بقایا (کاه) و همچنین مقدار نیتروژن معدنی در عمق توسعه ریشه می‌باشند.

اعتبارسنجی مدل

با توجه به اینکه در آزمایش‌های مزرعه اطلاعات کافی برای اعتبارسنجی بیلان نیتروژن در سطح مناطق مورد بررسی وجود نداشت، از این رو برای اعتبارسنجی مدل از داده‌های عملکرد پتانسیل آزمایش‌های مزرعه گندم در مناطق مورد مطالعه (جدول ۲) و همچنین نتایج آزمایش‌های منطقه‌ای ارقام امید بخش[2] و پیشرفته گندم[3] (Annual Report, 2013) و (Annual Report, 2014) ایستگاه‌های تحقیقاتی مشهد، کرج، شیراز، اهواز و گرگان که در آن‌ها اندازه‌گیری پروتئین دانه انجام شده بود، استفاده شد.

تبیین اعتبار مدل، با استفاده از دو شاخص جذر مجموع مربعات نرمال شده خطا (nRMSE[4]) و شاخص تطابق[5] (d) و نیز بر اساس ضرایب رگرسیونی خطی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده انجام شد. در ادامه با استفاده از معادله‌های ۲ (Yang et al., 2014) و ۳ (Willmott, 1982) به‌ترتیب شاخص‌های RMSE و d محاسبه شد.

معادله (۲)

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\overline{O}}$$

معادله (۳)

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(\rho_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|\rho_i - \overline{o}| + |o_i - \overline{o}|)^2} \right]$$

1- Potential evapotranspirarion(PET)
2- Elit regional wheat yield trials
3- Advance regional wheat yield trials

4- Normalized-root mean square error
5- index of agreement

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{o}}$$

در معادلات ۲ و ۳، p_i و o_i: به‌ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی و $\bar{O}$: میانگین مقادیر واقعی می‌باشد. nRMSE: به‌صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی است و مقدار آن مشابه ضریب تغییرات (C.V.) ارزیابی شده و شاخص *d*: در دامنه (۱-۰) بیان می‌شود، نزدیک بودن این شاخص به عدد یک نشان‌دهنده اعتبار بیشتر مدل می‌باشد.

محاسبه بیلان نیتروژن

یکی از ویژگی‌های مدل CENTURY در مقایسه با سایر مدل‌های شبیه‌سازی پویایی نیتروژن، توانایی آن در محاسبه اجزای بیلان نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی است. به این منظور با استفاده از معادلات ۴ تا ۸ بیلان نیتروژن برای هر یک از نظام‌های زراعی مورد مطالعه گندم برآورد شد. برای محاسبه بیلان نیتروژن ابتدا مقدار نیتروژن کل برای هر یک ازبوم‌نظام‌های زراعی‌گندم با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد.

N total = totsyse (N) + tminrl (N) معادله (۴)

در این معادله، **Ntotal:** عبارت است از نیتروژن کل در بوم‌نظام زراعی ($g\ m^{-2}$)، totsyse (N): نیتروژن سیستم و tminrl (N): نیتروژن معدنی ($g\ m^{-2}$) در عمق ۴۵-۰ سانتی‌متری خاک می‌باشند که totsyse (N) از معادله ۵ حاصل شده است.

totsyse (N) = som1e (SRFC,N) + som1e (soil,N) + som2e (soil,N) + som3e (N) + aglive (N) + bglive (N) معادله (۵)

در این معادله، aglive (N): عبارت از نیتروژن موجود در بخش هوایی، bglive (N): نیتروژن موجود در بخش زیرزمینی، som1e (SRFC,N): نیتروژن فعال موجود در ماده آلی سطح خاک، som1e (soil,N): نیتروژن فعال موجود در ماده آلی خاک در عمق توسعه ریشه، som2e (soil,N): نیتروژن نیمه‌فعال حاصل ازمواد آلی خاک و som3e(N): نیتروژن غیرفعال مواد آلی خاک بر حسب ($g\ m^{-2}$) می‌باشد. در ادامه، بیلان نیتروژن برای هر یک از بوم‌نظام‌های زراعی گندم در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۳ با استفاده از معادله ۶ به‌دست آمد.

N total (2014)- N total (2013) = N inputs (2014) – N outputs (2014) معادله (۶)

نیتروژن ورودی و خروجی به‌ترتیب از دو معادله ۷ و ۸ حاصل شده است.

N inputs= fertac + wdfx معادله (۷)

N outputs= egrain + ermvst + volexa + strmac معادله (۸)

نیتروژن ورودی عبارت است از: نیتروژن ناشی از مصرف‌کود (fertac)، نیتروژن اضافه شده از تثبیت اتمسفری (wdfx) و نیتروژن خروجی شامل: بقایا (ermvst)، نیتروژن دانه (egrain)، نیتروژن تصعید شده از سیستم (volexa) و نیتروژن شستشو شده (strmac) بر حسب $g.m^{-2}$ بود (Parton & Rasmussen, 1994; Parton, 1996).

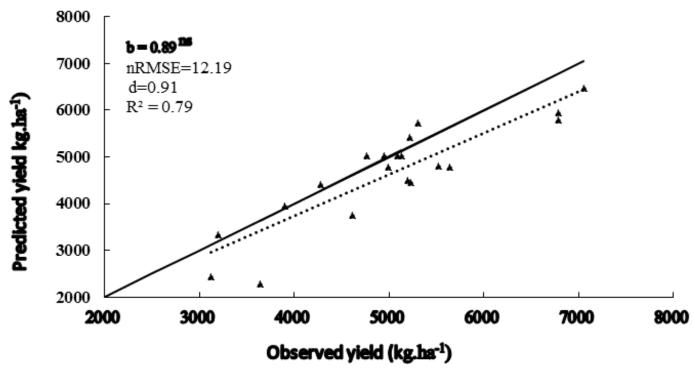
نتایج و بحث

تعیین اعتبار مدل

نتایج تعیین اعتبار مدل برای عملکرد گندم نشان داد که مدل برآورد مطلوبی از عملکرد دارد. عملکرد مشاهده شده در مناطق مورد مطالعه در محدوده ۷ – ۳/۱۲ با میانگین ۵/۱ تن در هکتار و عملکرد شبیه‌سازی شده در دامنه ۶/۴۷ – ۲/۴۴ با میانگین ۴/۶۲ تن در هکتار متغیر بود. مقادیر شاخص nRMSE و *d* برای عملکرد دانه به‌ترتیب ۱۲/۱۹ درصد و ۰/۹۱ به‌دست آمد (شکل ۱). چنانچه مقدار جذر میانگین مربعات نرمال شده خطا در دامنه ۲۰-۱۰ درصد میانگین عملکرد مشاهده شده باشد، مدل برآورد مناسبی از مقادیر مشاهده شده را خواهد داشت (Wallach & Goffinet, 1989).

دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2015) برای اعتبارسنجی مدل APSIM و تخمین عملکرد گندم و تعیین خلأ عملکرد در استان خراسان از شاخص nRMSE و *d* استفاده کردند. این پژوهشگران مقدار این دو شاخص را برای عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۵/۱ درصد و ۰/۸۹ گزارش کردند. همچنین بر اساس نتایج اعتبارسنجی مقادیر شاخص nRMSE، *d* و r^2 برای مقدار نیتروژن برداشت شده توسط دانه به‌ترتیب ۱۳/۹۲ درصد، ۰/۷۸ و ۰/۷۶ به‌دست آمد،که مقادیر قابل قبولی می‌باشند (شکل ۲). در همین رابطه، مطالعه‌ای که توسط پارتون و راسموس (Parton & Rasmussen, 1994) به‌منظور شبیه‌سازی اثر مدیریت بلندمدت زراعی نظام‌های تولیدی گندم امریکا با تناوب گندم-آیش بر عملکرد اقتصادی، عملکرد کاه و مقدار نیتروژن برداشت شده توسط دانه با

استفاده از مدل CENTURY انجام شد، نشان داد که مقدار خطـای مدل برای پیش‌بینـی میـانگین عملکـرد اقتصـادی، مقـدار نیتـروژن برداشت شده توسط دانه و عملکرد کاه برحسب ($g\ m^{-2}$) کمتر از ۱۰ درصد بود.

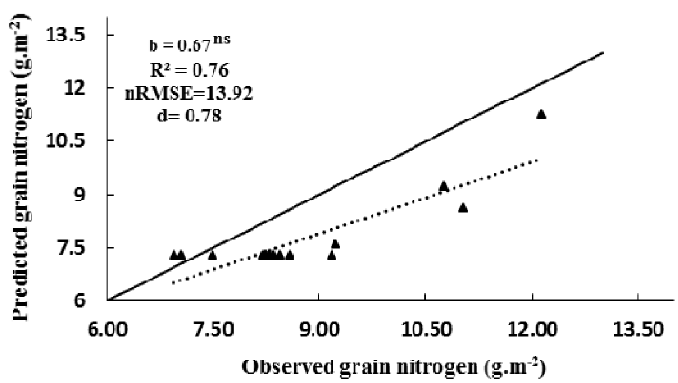


شکل ۱- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد گندم

Fig. 1- Comparison of observed and simulated wheat grain yield

خط پیوسته و نقطه‌چین به‌ترتیب خط ۱:۱ و رگرسیون خطی می‌باشد (n=۲۱). ns: عدم معنی‌داری شیب خط رگرسیون است.

Solid and dotted lines are 1:1 and fitted regression line, respectively (n=21). ns shows non significant difference between the slope of regression and 1:1 lines.



شکل ۲- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیتروژن دانه گندم

Fig. 2- Comparison of observed and simulated wheat grain nitrogen

خط پیوسته و نقطه‌چین به‌ترتیب خط ۱:۱ و خط رگرسیون هستند (n= ۱۷). ns: عدم معنی‌داری شیب خط رگرسیون است.

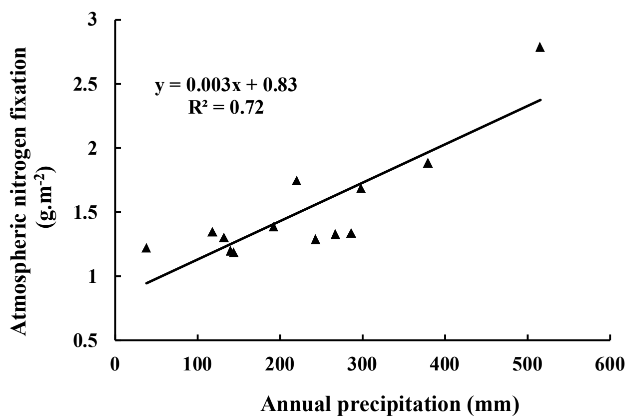
Solid and dotted lines are 1:1 and fitted regression line, respectively (n=17). ns shows non-significant between the slope of regression and 1:1 lines.

همبستگی بین متغیرها

نتایج به‌دست آمده از بررسی ضرایب همبستگی بین متغیرهـای مرتبط با بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی مورد مطالعه نشان داد که همبستگی بارندگی سالیانه با مقدار نیتروژن اتمسفری مثبت و معنی‌دار بود ($r=0.62, p\leq 0.05$). همچنین، همبستگی عملکرد بیولوژیک بـا مقدار نیتروژن تصعید شده از کانوپی ($r=0.86, p\leq 0.01$) و عملکـرد کاه با مقدار نیتروژن خارج شده توسط بقایا ($r=0.96, p\leq 0.01$) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۳). در رابطه با انتشـار نیتـروژن از کـانوپی در شرایط مزرعه پژوهش‌های فارکـار و همکـاران (Farquhar et al., 1980) نشان داد که گیاهان قادر به جذب NH_3 از اطراف و از دست دادن نیتروژن به‌شکل گاز NH_3 به اتمسفر پیرامون گیاه هستند. البته این امکان وجود دارد که تلفات و هـدررفت نیتـروژن بـه‌شکل گـاز

(NH_3) در تمامی چرخه زندگی گیاه وجود داشته باشد (Morgan & Parton, 1989). هارپر و شارپ (Harper & Sharpe, 1995) در این خصوص بیان داشتند که جذب اتمسفری NH_3 توسط گیاه با غلظت نیتروژن بافت‌های گیاه و غلظت NH_3 در اتمسفر اطراف کانوپی مرتبط است.

نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد با افزایش بارندگی سالیانه تثبیت اتمسفری نیتروژن افزایش می‌یابد، در واقع شیب خط برازش شده بیانگر این است که به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی، سالیانه ۰/۰۰۳ گرم بر مترمربع نیتروژن از طریق اتمسفر به سیستم اضافه شده است، به‌عبارتی چنانچه میانگین بارندگی سالیانه در منطقه ۳۰۰ میلی‌متر باشد، افزوده شدن حدود ۱۵ کیلوگرم نیتروژن اتمسفری در هکتار در سال را به‌همراه خواهد داشت (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات مقدار نیتروژن حاصل از تثبیت اتمسفری به‌عنوان تابعی از بارندگی

Fig. 3- Atmospheric nitrogen fixation as a function of annual precipitation in studied regions

شیب خط رگرسیون مقدار نیتروژن اضافه شده به‌ازای میلی‌متر بارندگی سالیانه است.

Slop of the regression line is the fixed nitrogen per mm^{-1} annual precipitation.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین متغیرها

Table 3- Variables correlation coefficient

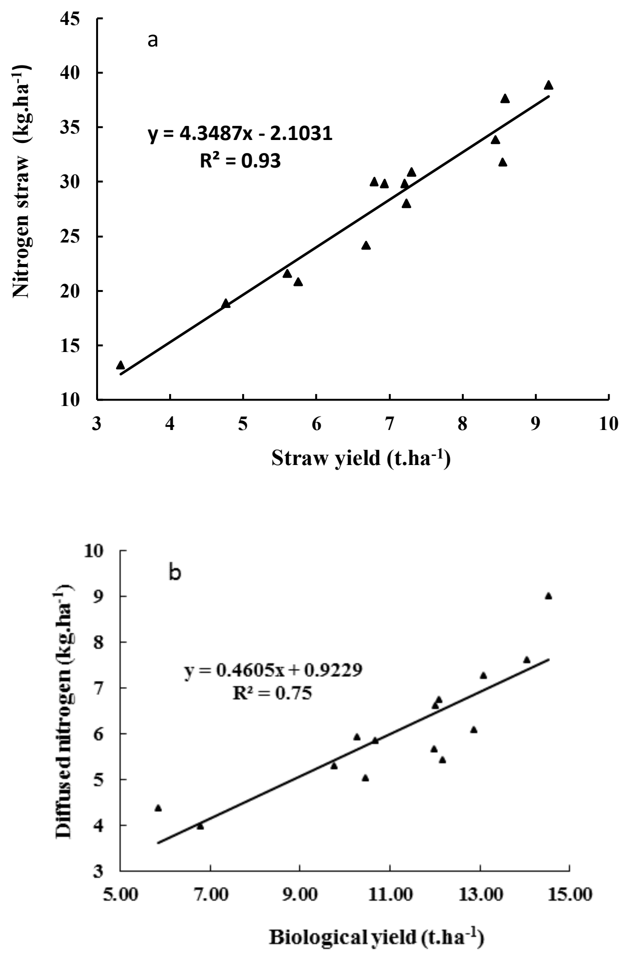
متغیر Variable	1	2	3	4	5	6
بارندگی **1- Pricipitation (mm)**		0.75^{**}	0.62^{*}	0.88^{**}	0.35	0.52^{*}
عملکرد بیولوژیک **2- Biological yield ($t.ha^{-1}$)**			0.28	0.86^{**}	0.81^{**}	0.91^{**}
نیتروژن اتمسفری **3- Atmospheric nitrogen ($g.m^{-2}$)**				0.42	-0.02	0.14
نیتروژن منتشر شده **4- Diffused nitrogen ($g.m^{-2}$)**					0.61^{*}	0.73^{**}
نیتروژن بقایا **5- Nitrogen straw content ($g.m^{-2}$)**						0.96^{**}
عملکرد کاه **6- Straw yield ($t.ha^{-1}$)**						1

** و *: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال $p \leq 0.01$ و $p \leq 0.05$ است.

* and **: represent significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

مطالعه سوگیموتو و توسوبیو (Sugimoto & Tsuboi, 2016) در ژاپن در ارتباط با مقدار نیتروژن ذخیره شده ناشی از بارندگی نشان داد که میزان کل نیتروژن وارد شده به سیستم با مقدار بارندگی سالیانه ۲۲۵۲ -۲۹۴۳ میلی‌متر در دامنه ۱۰/۶ تا ۱۴/۲ کیلوگرم در هکتار در سال متغیر بود.

نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان دادکه افزایش عملکرد کاه با افزایش مقدار نیتروژن خارج شده همراه است. شیب خط برازش داده شده نشان داد که به‌ازای هر تن عملکرد کاه، ۴/۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از سیستم مورد مطالعه خارج شده است (شکل ۴ الف). همچنین، بررسی مقدار نیتروژن منتشر شده و عملکرد بیولوژیک نشان داد که بین عملکرد بیولوژیک و مقدار نیتروژن انتشار یافته از کانوپی رابطه خطی وجود دارد. به‌عبارتی، ۷۵ درصد از تغییرات مقدار نیتروژن انتشار یافته توسط عملکرد بیولوژیک توصیف می‌شود (شکل ۴ ب).



شکل ٤- تغییرات مقدار نیتروژن بقایا به‌عنوان تابعی ازعملکرد بقایا (کاه) و مقدار نیتروژن منتشر شده به‌عنوان تابعی از عملکرد بیولوژیک

Fig. 4- Straw nitrogen content as a function of straw yield and diffused nitrogen as a function of biological yield

شیب خط رگرسیون بر حسب کیلوگرم در هکتار نیتروژن بقایا به‌ازای تن در هکتار عملکرد بقایا (الف) و کیلوگرم در هکتار نیتروژن منتشر شده به‌ازای تن در هکتار عملکرد بیولوژیک (ب) است.

Slop of the regression lines are straw nitrogen content in $kg.ha^{-1}$ per $t.ha^{-1}$ straw yield (a) and diffused nitrogen content in $kg.ha^{-1}$ per $t.ha^{-1}$ biological yield (b).

میانگین عملکرد بیولوژیک و بقایا در نظام‌های زراعی مورد این مطالعه به‌ترتیب معادل ۱۱/۱۷ و ۶/۸۸ تن در هکتار بود، بنابراین بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار نیتروژن خارج شده از نظام‌های زراعی گندم توسط بقایا (کاه) حدود ۳۲کیلوگرم در هکتار و توسط انتشار شش کیلوگرم در هکتار بود.کمانیان و همکاران (Kemanian et al., 2007) در پژوهشی با ارائه یک مدل ساده به بررسی چگونگی پیش‌بینی غلظت نیتروژن دانه و کاه غلات با استفاده از شاخص برداشت و غلظت نیتروژن بخش هوایی پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که در گندم تغییرات مقدار نیتروژن برای کاه در دامنه ۱۴-۲ (گرم در کیلوگرم) و برای دانه در دامنه ۴۰-۱۲ (گرم در کیلوگرم) متغیر است.

آرورا و موهان (Arora & Mohan, 1999) انتشار نیتروژن به‌صورت گاز آمونیاک از کانوپی گندم را در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که انتشار نیتروژن از بافت‌های رویشی زمانی روی می‌دهد که غلظت آمونیاک در اتمسفر مجاور کانوپی کمتر از نقطه جبرانی باشد و در مقابل، جذب در شرایطی حاصل می‌شود که غلظت آمونیاک بیشتر از نقطه جبرانی باشد.

تغییرات بیلان نیتروژن

تغییرات بیلان نیتروژن برای دو سال (۲۰۱۴ - ۲۰۱۳) میلادی منتهی به دوره زمانی این مطالعه (۲۰۱۴ -۲۰۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن کل طبق معادله ۵ به‌ترتیب در بوم‌نظام‌های زراعی‌گندم گرگان، کرمانشاه و همدان و کمترین آن در بیرجند، زابل و تبریز و اصفهان مشاهده شد. گروه‌بندی مناطق تحت بررسی برای مقدار نیتروژن کل در نظام زراعی مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است.

همچنین، قدر مطلق تفاوت نیتروژن کل بوم‌نظام‌های زراعی بر حسب (گرم در مترمربع) برای دو سال انتهایی نشان داد که بیشترین تفاوت به‌ترتیب در بوم‌نظام‌های زراعی همدان |۴۵ /۶|، گرگان |۴/۹۶| و پارس‌آباد مغان |۴/۰۶| و کمترین تفاوت در اصفهان |۰/۲|، بیرجند |۰/۳۸| و زابل |۰/۴۶| مشاهده شد (جدول ۴).

جهت محاسبه بیلان در دو سال انتهایی دوره مورد مطالعه می‌بایست تفاوت مشاهده شده برای قدر مطلق نیتروژن کل دو سال (۲۰۱۴ – ۲۰۱۳) با مقدار ورودی و خروجی نیتروژن در سال ۲۰۱۴ برابر باشد (معادله ۶). نتایج به‌دست آمده در این رابطه نشان داد که برای همه بوم‌نظام‌های زراعی مورد مطالعه، بیلان نیتروژن برقرار بوده است. میانگین نیتروژن ورودی (معادله ۷) که خود از دو جزء نیتروژن ناشی از مصرف کود و نیتروژن اتمسفری تشکیل شده است، معادل ۹/۱۵ گرم در مترمربع بود. در این رابطه، بیشترین نیتروژن ورودی به‌ترتیب به بوم‌نظام‌های زراعی‌گندم پارس‌آباد مغان، اصفهان و کرمانشاه و کمترین این مقدار به بوم‌نظام‌های زراعی گندم کرمان، زابل و بیرجند تعلق داشت. از طرفی، نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین نیتروژن خروجی سیستم (معادله ۸) معادل ۱۱/۰۲ گرم در مترمربع بود. در این ارتباط بیشترین نیتروژن خروجی به‌ترتیب از بوم‌نظام‌های زراعی‌گندم همدان، گرگان و پارس‌آباد مغان وکمترین خروجی نیتروژن از بوم‌نظام‌های زراعی گندم زابل، بیرجند و کرمان حاصل شده است (جدول ۵).

سهم نسبی اجزای بیلان نیتروژن

در ادامه این بررسی آنالیز رگرسیون گام‌به‌گام[1] برای تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرهای مرتبط با نیتروژن ورودی و خروجی انجام شد. نتایج به‌دست آمده در رابطه با سهم نسبی اجزای نیتروژن ورودی مؤید این است که تغییرات کل نیتروژن ورودی توانسته است توسط نیتروژن حاصل از مصرف کود به‌عنوان اولین متغیر با ضریب تبیین جزئی[2] ۹۷/۳۳ درصد و سپس نیتروژن اتمسفری به‌عنوان دومین متغیر با سهم نسبی۲/۶۷ درصد توجیه شود (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد که با توجه به سهم نسبی کود نیتروژن مصرفی، نقش مدیریت زراعی در رابطه با اجزای نیتروژن ورودی از اهمیت بیشتری برخوردار باشد.

همچنین نتایج آنالیز رگرسیونی برای تعیین سهم نسبی اجزای نیتروژن خروجی نشان داد که نیتروژن خارج شده توسط دانه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر با ضریب تبیین جزئی ۹۲/۷۹ و بقایا به‌عنوان دومین متغیر، ۶/۵۴ درصد از تغییرات کل را بر عهده داشتند، به‌عبارتی، دو متغیر ذکر شده توانستند ۹۹/۳۳ درصد از تغییرات را تبیین نمایند و دو متغیر باقی‌مانده یعنی نیتروژن خارج شده توسط آب‌شویی و انتشار، کمتر از یک درصد مؤثر بودند (جدول ۷).

بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست آمده از تعیین سهم نسبی اجزای

1- Stepwise regression
2- Partial R^2

نیتروژن خروجی، بیشترین تغییرات توسط نیتروژن دانه که بـه‌میـزان زیادی با ژنوتیپ و خصوصیات اصلاحی ارقام مـرتبط اسـت، حاصـل شده است.

در این خصوص کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) جریان نیتروژن و کارایی مصرف آن را در چرخه تولید و مصرف گندم و ذرت در ایران مورد بررسی قـرار دادنـد. آن‌هـا اظهـار داشـتند کـه بیشترین تلفات نیتروژن بوم‌نظام‌های زراعـی گنـدم ایـران در سـطح مزرعه مشاهده شد، در حالی که برای ذرت به‌دلیل کارایی بـالاتر در جذب نیتروژن تلفات کمتر از گندم بود. همچنین، لو و همکاران (Liu et al., 2003) بیلان نیتروژن را برای سیستم‌های زراعی گندم- ذرت در شمال چین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی این پژوهشـگران نیز نشان داد که تلفات ناشی از تصعید آمونیـاکی و دنیتریفیکاسـیون بخش کوچکی از تلفات مرتبط با بیلان نیتروژن را تشکیل می‌دهد.

جدول ٤- مقادیر نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی در سال‌های منتهی به ۲۰۱۳ و ۲۰۱٤

Table 4- Nitrogen contents in wheat cropping systems in 2013 to 2014

منطقه Region	سال Year	مقدار نیتروژن به‌جز نیتروژن معدنی Nitrogen content except mineral nitrogen ($g.m^{-2}$)	نیتروژن معدنی (در عمق ٤٥ سانتی‌متری) Mineral nitrogen in 45 cm depth ($g.m^{-2}$)	نیتروژن کل Total nitrogen ($g.m^{-2}$)	تفاوت دو سال Difference for two years (2013-2014) ($g.m^{-2}$)
اصفهان Isfahan	2013 2014	90.92 91.09	1.15 0.78	92.07 91.87	-0.2
اهواز Ahvaz	2013 2014	108.88 109.64	2.45 1.13	111.33 110.77	-0.56
بیرجند Birjand	2013 2014	88.99 90.09	2.14 1.42	91.13 91.51	0.38
پارس‌آباد Parsabad	2013 2014	206.21 211.30	3.09 2.06	209.30 213.36	4.06
تبریز Tabriz	2013 2014	89.93 89.32	3.76 0.80	93.69 90.12	-3.57
زابل Zabol	2013 2014	89.93 89.84	0.78 1.33	90.71 91.17	0.46
شاهرود Shahrod	2013 2014	90.40 90.14	3.04 1.02	93.44 91.16	-2.28
شیراز Shiraz	2013 2014	189.37 186.89	1.64 1.55	191.01 188.44	-2.57
کرج Karaj	2013 2014	130.55 131.89	5.59 1.75	136.14 133.64	-2.50
کرمانشاه Kermanshah	2013 201	295.27 295.01	3.19 2.11	298.46 297.12	-1.34
کرمان Kerman	2013 2014	93.12 92.74	4.27 1.13	97.39 93.87	-3.52
گرگان Gorgan	2013 2014	455.04 451.65	6.70 5.13	461.74 456.78	-4.96
مشهد Mashhad	2013 2014	93.00 90.60	1.84 1.18	94.84 91.78	-3.06
همدان Hamadan	2013 2014	248.41 247.67	6.99 1.28	255.40 248.95	-6.45

جدول ۵- مقادیر ورودی و خروجی نیتروژن بوم‌نظام‌های زراعی در سال ۲۰۱٤
Table 5- Nitrogen input and output in wheat cropping systems in 2014

منطقه Region	نیتروژن ورودی Nitrogen input: نیتروژن کود Fertilizer (g.m^{-2})	نیتروژن ورودی Nitrogen input: تثبیت اتمسفری Atmospheric fixiation (g.m^{-2})	نیتروژن خروجی Nitrogen output: نیتروژن دانه Grain nitrogen (g.m^{-2})	نیتروژن خروجی Nitrogen output: انتشار Diffusion (g.m^{-2})	نیتروژن خروجی Nitrogen output: آب‌شویی Leaching (g.m^{-2})	نیتروژن خروجی Nitrogen output: بقایا Straw (g.m^{-2})	خروجی- ورودی Input-output (g.m^{-2})
اصفهان Isfahan	10	1.19	7.06	0.54	0.03	3.76	-0.20
اهواز Ahvaz	9	1.38	8.19	0.50	0.09	2.16	-0.56
بیرجند Birjand	5	1.30	4.15	0.44	0.01	1.32	0.38
پارس‌آباد Parsabad	16.2	1.34	9.88	0.73	0.07	2.80	4.06
تبریز Tabriz	5.2	1.29	7.16	0.59	0.22	2.08	-3.56
زابل Zabol	5	1.22	3.47	0.40	0	1.89	0.46
شاهرود Shahrod	7.2	1.20	7.03	0.58	0.08	2.98	-2.27
شیراز Shiraz	7.2	1.64	8.38	0.57	0.04	2.41	-2.56
کرج Karaj	9	1.33	8.79	0.67	0.28	3.09	-2.50
کرمانشاه Kermanshah	9.2	1.88	8.65	0.66	0.12	2.98	-1.33
کرمان Kerman	4.5	1.35	5.84	0.53	0.01	3.00	-3.53
گرگان Gorgan	6	2.79	9.65	0.90	0.02	3.18	-4.96
مشهد Mashhad	7	1.74	7.75	0.61	0.04	3.38	-3.04
همدان Hamedan	7.5	0.55	9.03	0.76	0.82	3.89	-6.45

جدول ٦- آنالیز رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرهای نیتروژن ورودی
Table 6- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of each nitrogen input variables

متغیر Variable	مرحله ورود Entry step	ضریب تبیین مدل Model coefficient of determination	ضریب تبیین جزئی Partial coefficient of determination
کود Fertilizer	1	0.9733**	0.9733
نیتروژن اتمسفری Atmospheric nitrogen	2	1**	0.0267

**: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح p≤ 0.01 است.

**: Repersent sicnificance at p≤ 0.01

جدول ۷- آنالیز رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرهای نیتروژن خروجی

Table 7- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of each nitrogen output variables

متغیر Variable	مرحله ورود Entry step	ضریب تبیین مدل Model coefficient of determination	ضریب تبیین جزئی Partial coefficient of determination
نیتروژن دانه Grain nitrogen	1	0.9279**	0.9279
نیتروژن بقایا Straw nitrogen	2	0.9934**	0.0654
آب‌شویی Leaching	3	0.9993**	0.006
انتشار Diffusion	4	1**	0.0007

**: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح $p\leq 0.01$ است.

**: Repersent sicnificance at $p\leq 0.01$ probability level.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین نیتروژن ورودی در دامنه (گرم در مترمربع ۹/۵ – ۱۲/۵) برای بوم‌نظام‌های زراعی گندم شمال غربی، غرب و جنوب غربی و کمترین مقدار نیتروژن ورودی در دامنه (گرم در مترمربع ۷/۳ – ۹/۴) در نظام‌های زراعی شرق و جنوب شرقی مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که تا حدودی روندی مشابه نیتروژن ورودی برای نیتروژن خروجی نیز وجود داشت. از طرفی، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای اجزای بیلان نیتروژن نیز نشان داد که متغیر کود به‌تنهایی با ضریب تبیین جزئی ۹۷/۳۳ بیشترین سهم را در رابطه با ورود نیتروژن به نظام زراعی گندم برعهده داشته است و از سوی دیگر، در رابطه با خروج نیتروژن از نظام‌های زراعی نیتروژن خارج شده توسط دانه با ضریب تبیین جزئی ۹۲/۷۹ در مقایسه با سایر اجزای بیلان نیتروژن مهم‌ترین متغیرها در رابطه با نیتروژن ورودی و خروجی بودند. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد در رابطه با نیتروژن ورودی نقش مدیریت زراعی مانند تقسیط مصرف کود، هم‌زمان بودن مصرف کود با نیاز گیاه و در مجموع، افزایش کارایی مصرف نیتروژن که بیشتر متکی بر مدیریت زراعی می‌باشد، حائز اهمیت می‌باشد. امّا در خصوص خروج نیتروژن از نظام‌های زراعی گندم علاوه بر مدیریت زراعی بقایا مانند استفاده از سیستم‌های شخم حفاظتی بهره بردن از ارقام اصلاح شده که از کارایی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار باشند، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. با توجه به اینکه چگونگی مدیریت نیتروژن به‌منظور افزایش تولید یکی از رهیافت‌های مهم در نظام‌های زراعی است. از این رو به نظر می‌رسد شرایط اقلیمی و بافت خاک نیز می‌توانند بر جذب و هدررفت نیتروژن که بخش مهمی از بیلان نیتروژن در سیستم خاک و گیاه را تشکیل می‌دهند، مؤثر باشند. به‌عنوان مثال، استفاده بیشتر از نیتروژن در خاک‌های سبک، تلفات آب‌شویی بیشتری را در مقایسه با مصرف نیتروژن در خاک‌های سنگین به‌همراه خواهد داشت. همچنین دی‌نیتراته شدن که عبارت است از کاهش و یا احیای میکروبی NO_3^- به‌صورت مولکولی (N_2) و یا تبدیل آن به یکی از اشکال اکسیدی (NO و N_2O) که تحت شرایط بی‌هوازی صورت می‌گیرد، می‌تواند تحت تأثیر بافت خاک، رطوبت و درجه حرارت قرار گیرد.

References

Annabi Milani, A., 2007. Interaction of irrigation regimes and nitrogen sources on grain yield and water use efficiency of wheat. Agroecology Journal 2: 43-56. (In Persian with English Summary)

Annual report of wheat breeding program (Bread and Drum). 2013. SPII. Karaj, Iran.

Annual report of wheat breeding program (Bread and Drum). 2014. SPII. Karaj, Iran.

Arora, A., Mohan, J., 1999. Ammonia volatilization during moisture stress from wheat (*Triticum aestivum* L.) plant canopy. Indian Journal of Experimental Biology 37: 701-705.

Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z., 2007. Effect of rate and times of nitrogen application on accumulation and remobilization efficiency of flag leaf in two wheat cultivars. Journal of Water and Soil Science 11: 147-155. (In

Persian with English Summary)

Bakhshaie, S., Rezvani Moghaddam, P., and Goldani, M., 2014. The effects of nitroxin and nitrogen fertilizer on yield and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Iranian Field Crop Research 12: 360-368. (In Persian with English Summary)

Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Liberta, G., Palumbo, I., San-Miguel-Ayanz, J., and Schmuck, G., 2008. Assessment of forest fire impacts and emissions in the European Union based on the European Forest Fire Information System. Developments in Environmental Science 8: 197-208.

Bateman, E., and Baggs, E., 2005. Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space. Biology and Fertility of Soils 41: 379-388.

Bishop, P., and Manning, M., 2010. Urea Volatilisation: The Risk Management and Mitigation Strategies. Palmerston North, New Zealand: Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University.

Black, A.S., Sherlock, R.R., Smith, N.P., Cameron, K.C., and Goh, K.M., 1985 b. Effects of form of nitrogen, season, and urea application rate on ammonia volatilisation from pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research 28: 469–474.

Boswell, F.C., Meisinger, J.J., and Case, W.L., 1985. Production, marketing and use of nitrogen fertilizers. In: Fertilizer Technology and Use. 3 rd Ed. SSSA Madison, WI 229-292 pp.

Brun, F., Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W., 2006. Working with dynamic crop models: evaluation, analysis, parameterization, and applications, Elsevier.

Butterbach-Bahl, K., Gundersen, P., Ambus, P., Augustin, J., Beier, C., Boeckx, P., Dannenmann, M., Sanchez Gimeno, B., Ibrom, A., and Kiese, R., 2011. Nitrogen processes in terrestrial ecosystems. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives, pp. 99-125.

Cameron, K., Di, H., and Moir, J., 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. Annals of Applied Biology 162: 145-173.

Chien, S.H., Prochnow, L.I., Cantarella, H., and Donald, L.S., 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmentalimpacts. Advances in Agronomy 102: 268–322.

Deihimfard, R., Mahallati, M.N., and Koocheki, A., 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. Field Crops Research 184: 28-38.

Delgado, J., and Shaffer, M., 2008. Nitrogen Management Modeling Techniques: Assessing Cropping Systems/Landscape Combinations**.**

Di, H., and Cameron, K., 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. Nutrient Cycling in Agroecosystems 64: 237-25.

Fageria, N., and Baligar, V., 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy 88: 97-185.

Gerami, F., Aynehband, A., and Fateh, E., 2013. Effect of green manures and nitrogen fertilizer levels on early growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 23: 1-17. (In Persian with English Summary)

Farshid, R., Zamani, G., Behdani, M., and Sahrai, E., 2012. Effects of salinity and nitrogen application methods on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Iranian Field Crop Research 10: 18-24. (In Persian with English Summary)

Harper, L.A., and and Sharpe, R.R., 1995. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. Agronomy Journal 87: 669-675.

Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., and Kalateh, M., 2011. The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. Electronic Journal of Crop Producation 4: 187-200. (In Persian with English Summary)

Farquhar, G.D., Firth, P.M., Wetselaar, R., and Weir, B., 1980. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: determination of the ammonia compensation point. Plant Physiology 66: 710-714.

Kemanian, A.R., Stöckle, C.O., and Huggins, D.R., 2007. Estimating grain and straw nitrogen concentration in grain crops based on aboveground nitrogen concentration and harvest index. Agronomy journal 99: 158-165.

Khasseh Serjani, A., Farahbakhsh, H., Ravari, S.Z., Pasandipoor, N., and Karami, A., 2011. Evaluation the effect of biological, zinc sulphate and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of wheat yield .Iranian Journal of Soil Research 25: 125-135. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Soltani, A., Sharifi, H., and Ghorbani, R., 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Climate Research 30: 247-253.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mansoori, H., and Moradi, R., 2012. Assessment of nitrogen flow and use efficiency in the course of production to utilization for wheat and maize in Iran. Journal of Agroecology 4(3): 192-200. (In Persian with English Summary)

Linacre, E.T., 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, usingtemperature data alone. Agricultural Meteorology 18: 409-424.

Liu, X., Ju, X., Zhang, F., Pan, J., and Christie, P., 2003. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat–maize cropping system in the North China Plain. Field Crops Research 83: 111-124.

Mdhej, A., Naderi, A., Imam, Y., Aynehband, A., and Normohamadi, G., 2009. Effect of different nitrogen level on grain yield, grain protein content and agronomic nitrogen use efficiency in wheat genotypes under optimum and post- anthesis heat stress conditions. Seed and Plant Production Journal 25: 353-371. (In Persian with English Summary)

Morgan, J.A., and Parton, W.J., 1989. Characteristics of ammonia volatilization from spring wheat. Crop Science 29: 726-731.

Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G., and Shahandeh, H., 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). Archives of Agronomy and soil Science 52: 113-124.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J., and Hanson, C.E., 2007. IPCC, 2007: Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Parton, W., McKeown, R., Kirchner, V., and Ojima, D., 1992. Users guide for the CENTURY model.

Parton, W.J., and Rasmussen, P., 1994. Long-term effects of crop management in wheat-fallow: II. CENTURY model simulations. Soil Science Society of America Journal 58: 530-536.

Parton, W., 1996. The CENTURY model. Evaluation of soil organic matter models. Springer 283-291.

Pourazari, F., Ehsanzade, p., and Jahanbin, S., 2011. Response of hulled tetraploid wheats to nitrogen deficit stress in comparison to macaroni wheat. Iranian Journal of Field Crop Science 42: 285-294. (In Persian with English Summary)

Shaffer, M.J., Ma, L., and Hansen, S., 2010. Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management, CRC Press.

Shahabifar, M., and Daryashenas, A., 2004. Increase of N use efficiency in wheat fertigation method by optimum split N at growth stage. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Soil and Water Research Institute. 44674. (In Persian with English Summary)

Statistical year book., 2013. Department of Agricultural Statistics. Jihad-e-Agriculture Ministry, Iran. 167 p. (In Persian)

Sommer, S.G., Schjoerring, J.K., and Denmead, O.T., 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. Advances in Agronomy 82: 558–622.

Stevenson, F., and Cole, M. A., 1985. Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. First Edition, published by Wiley.

Stockdale, E., Gaunt, J., and Vos, J., 1997. Soil-plant nitrogen dynamics: what concepts are required? European Journal of Agronomy **7**: 145-159.

Sogbedji, J.M., Van Es, H.M., Yang, C.L., Geohring, L.D., and Magdoff, F.R., 2000. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. Journal of Environmental Quality 29: 1813-1820.

Soltani, A., Khooie, F., Ghassemi-Golezani, K., and Moghaddam, M., 2001. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. Agricultural Water Management 49: 225-237.

Sugimoto, R., and Tsuboi, T., 2016. Seasonal and annual fluxes of atmospheric nitrogen deposition and riverine nitrogen export in two adjacent contrasting rivers in central Japan facing the Sea of Japan. Journal of Hydrology: Regional Studies.

Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., Van Grinsven, H., and Grizzetti, B. 2011. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives, Cambridge University Press.

Taghipoor, F., 2005. The effect of nitrogen sources on the yield and quality of wheat. AgriculturalResearch Education and Extension Organization p. 84-955. (In Persian)

Thomson, A.J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E.M., and Richardson, D.J., 2012. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences 367: 1157–1168.

Wallach, D., and Goffinet, B., 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. Ecological Modelling 44: 299-306.

Williams, J., Dyke, P., and Jones, C., 1983. EPIC-A model for assessing the effects of erosion on soil productivity. Analysis of ecological systems: state-of-the-art in ecological modelling: proceedings, 24-28 May 1982, Colorado State Univ., Ft. Collins, Colo./edited by WK Lauenroth, GV Skogerboe, M. Flug.

Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society 63: 1309-1313.

Yang, J., Yang, J., Liu, S., and Hoogenboom, G., 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. Agricultural Systems 127: 81-89.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 523-540

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۴۰-۵۲۳

Evaluation of Nitrogen Balance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cropping Systems of Iran

H. Tavakoli Kakhki[1], M. Nassiri Mahallati[2*], A. Koocheki[2], M. Jahan[3] and S.A.R. Beheshti[4]
Submitted: 22-07-2018
Accepted: 19-01-2019

Tavakoli Kakhki, H., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Jahan, M., and Beheshti, S.A.R., 2020. Evaluation of nitrogen balance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping systems of Iran. Journal of Agroecology 12(3):523-540.

Introduction

The nitrogen budget or balance is often evaluated by comparing various nitrogen inputs and outputs in soil–crop systems. Research on nitrogen balance can provide more detailed information on the nitrogen cycle and its losses by integrating soil nitrogen processes with the total nitrogen budgets. There are restricted researches for evaluation of nitrogen balances in the cropping systems. It is clear that accurate measuring of each component of nitrogen budgets in relation to soil processes is difficult. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is the main cereal crop cultivated in Iran. According to published data the average nitrogen application rates in wheat cropping systems of Iran is 120 kg.ha^{-1} but, the excessive use of fertilizer nitrogen is very common in wheat fields. It is estimated that in Iran, about 2.2 million ha of wheat production areas are under irrigation. Alike, there are limited studies on nitrogen dynamics, budgets and its losses pathways in wheat production systems of Iran. Such studies are essential to understand the nitrogen behavior and balance in wheat cropping systems. This research was carried out with the aim of evaluating nitrogen balance of wheat cropping systems with different climatic conditions over the country by using CENTURY model.

Materials and Methods

We used CENTURY model (Parton et al., 1994) to evaluate nitrogen dynamics and nitrogen balance in wheat cropping systems. For this purpose 14 wheat cropping system located in diverse climates were selected. Soil data was collected from Soil and Water Research Institute and weather data from 2000 to 2014 were obtained from Iran Meteorological Organization for 14 selected stations. The CENTURY model simulates the long-term dynamics of Carbon (C) and Nitrogen (N), for different Plant-Soil Systems. The model can simulate the dynamics of agricultural crop systems. The crop system of CENTURY have different plant production sub-models which are linked to a common soil organic matter sub-model .The soil organic matter sub-model simulates the flow of C, N through plant litter and the different inorganic and organic pools in the soil. CENTURY model runs in monthly time step with monthly precipitation (cm), monthly mean minimum and maximum temperature (°C), site latitude and longitude, sand, silt and clay (%), soil bulk density (g.cm^{-3}), rooting depth (cm), C and N content of the top 20 cm of soil and management information such as planting date, first and last month of wheat growth, number and amounts of applied fertilizers, amount of irrigation water and its schedules are required. For model validation we used two statistical measures including Normalized Root Mean Squared Error (nRMSE), Willmott (1982) index of agreement (d value) and linear regression coefficients between actual and predicted values.

Results and Discussion

Results revealed that the highest nitrogen input in wheat cropping systems (9.5 - 12.5 g.m^{-2}) was observed in Northwest, West and Southwest and the lowest (7.3 - 9.4 g.m^{-2}) were in East and Southeast areas of the country. Also, nitrogen output plan in wheat cropping systems was similar to nitrogen input. In addition, stepwise regression analysis indicated that fertilizer application rate with partial coefficient of 97.33% and grain nitrogen

1, 2, 3 and 4- Instructor Research of Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, (Former Ph.D. Student in Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad), Professor, Associat Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferodwsi University of Mashhad and Associated Research of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74308

with partial coefficient of 92.79%, respectively, were the most important variables in relation to nitrogen input and output in wheat cropping systems of Iran.

Conclusion

According to the results, it seems that in relation to nitrogen input, the role of agronomic management such as fertilizer application, coincidence of fertilizer application time with plant requirement and increasing nitrogen use efficiency (NUE) which is mostly dependent on agricultural management are important issues. But in the case of nitrogen outputs from wheat cropping systems, in addition to agronomic managements, use of improved cultivars with higher nitrogen uptake efficiency is more important.

Keywords: Fertilizer, Grain nitrogen, Nitrogen input, Nitrogen output, Simulation.